

RECENZJA

osiągnięć naukowych, aktywności naukowej, dorobku dydaktycznego i organizacyjnego dr inż. Grzegorza Józkowa w związku z postępowaniem habilitacyjnym

1. Podstawa formalna

Podstawą niniejszej recenzji jest pismo (IDDD0000.41.02.96.2019) z dnia 02.04.2019 roku Dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji UP we Wrocławiu informujące, iż Decyzją Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów (pismo nr BCK-V-L-9347/18) zostałem powołany w roli recenzenta do Komisji Habilitacyjnej, która ma na celu przeprowadzenie **postępowania habilitacyjnego dr. inż. Grzegorza Józkowa** w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia.

W załączeniu do ww. pisma przekazano mi dokumentację dorobku naukowego, dydaktycznego i popularyzującego naukę, złożoną przez dr. inż. Grzegorza Józkowa w formie analogowej oraz elektronicznej.

2. Podstawa prawna recenzji

Recenzję opracowano na podstawie:

- art. 18a, ust 5 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017. poz. 1789), zwaną dalej ustawą, z związku z art. 179, ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku.
- Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669).
- Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora.
- Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Zgodnie z art. 16 ust 2 Ustawy dr inż. Grzegorz Józków jako rozprawę habilitacyjną przedstawił cykl publikacji naukowych powiązany tematycznie pod wspólnym tytułem: „Skaning laserowy – akwizycja i kompresja danych”.

3. Materiały stanowiące podstawę opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie następujących dostarczonych materiałów:

- Autoreferatu habilitanta.
- Wykazu dorobku habilitacyjnego - Osiągnięcia naukowego – cykl publikacji powiązanych tematycznie.
- Wykaz innych opublikowanych prac naukowych.
- Dokumentów potwierdzających uzyskanie stopnia naukowego doktora.

W swojej recenzji wydzielam następujące części:

- A. Sylwetka Habilitanta.
- B. Ocena przedstawionego przez Habilitanta osiągnięcia naukowego w aspekcie jego znaczenia dla rozwoju geodezji i kartografii.
- C. Ocena istotnej aktywności naukowej Habilitanta wraz z oceną dorobku dydaktycznego i organizacyjnego, wraz z wnioskiem końcowym.
- D. Ocena dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej Habilitanta po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.

A. Sylwetka Habilitanta

Habilitant studiował na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej we Wrocławiu, gdzie w dniu 08.02.2001 r. został mu nadany tytuł zawodowy inżyniera a 08.07.2003 r. magistra inżyniera. Studia te ukończył z wynikiem bardzo dobrym z wyróżnieniem, broniąc pracę magisterską pt. Analiza porównawcza treści zdjęć lotniczych i cyfrowych lotniczych obrazów video w podczerwieni z powodzi w roku 1997 na wybranym odcinku rzeki Odry.

Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia, specjalność: fotogrametria i teledetekcja - został nadany mgr inż. Grzegorzowi Józków w dniu 17 listopada 2010 r. przez Radę Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Dysertacja „*Doskonalenie metod filtracji danych lotniczego skaningu laserowego*” (promotor dr hab. inż. Andrzej Borkowski, prof. UP) została wyróżniona.

Od dnia 01.03.2006 r. do 05.10.2011 r. mgr inż. Grzegorz Józków zatrudniony był na stanowisku asystenta, a od 06.10.2011 r. do chwili obecnej na stanowisku adiunkta w Instytucie Geodezji i Geoinformatyki na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Habilitant spędził 36 miesięcy na Ohio State University (Columbus; USA) na długoterminowym stażu naukowym (*post doctoral researcher*) pod opieką prof. Doroty Grejner-Brzezińskiej. Głównym celem pobytu były badania nad algorytmami LiDAR waveform.

B. Ocena przedstawionego przez Habilitanta osiągnięcia naukowego pod kątem jego znaczenia dla rozwoju geodezji i kartografii

Na rozprawę habilitacyjną „*Skaning laserowy - akwizycja i kompresja danych*” składa się przedłożony cykl 7 publikacji naukowych powiązanych tematycznie i stanowiących osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Cykl publikacji szczegółowych zagadnień dotyczących procesu pozyskiwania i wstępnego przetwarzania chmur punktów technologiami skanowania laserowego (ang. LiDAR) oraz określania wpływu poszczególnych sensorów zintegrowanych w systemach mobilnych i statycznych na jakość gromadzonych danych 3D.

Na cykl tematyczny składają się następujące prace naukowe:

1. Toth, C., Józków, G., 2016. *Remote sensing platforms and sensors: A survey*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.004> (pkt. 45, IF=6.387), udział 45%
2. Józków, G., Toth, C., Quirk, M., Grejner-Brzezinska, D., 2015. Compression strategies for LiDAR waveform cube. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 99, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.10.003> (pkt. 45, IF=4.188), udział 60%.
3. Józków, G., Toth, C., Quirk, M., Grejner-Brzezinska, D., 2015. Study on sensor level LiDAR waveform data compression using JPEG-2000 standard multi-component transform. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, 2015(3), 201-213. <https://doi.org/10.1127/pfg/2015/0265> (pkt. 15, IF=0.554), udział 55%.
4. Józków, G., 2017. Terrestrial Laser Scanning Data Compression Using JPEG-2000. *PFG-Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 85(5), 293-305. <https://doi.org/10.1007/s41064-017-0027-y> (pkt. 15, IF=1.085), udział 100%.
5. Toth, C., Jozkow, G., Grejner-Brzezinska, D., 2015. Mapping with small UAS: A point cloud accuracy assessment. *Journal of Applied Geodesy*, 9(4), 213-226. <https://doi.org/10.1515/jag-2015-0017> (pkt. 15), udział 45%.
6. Jozkow, G., Toth, C., Grejner-Brzezinska, D., 2016. UAS topographic mapping with velodyne LiDAR sensor. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, III-1, 201-208. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-III-1-201-2016> (pkt. 15), udział 70%.
7. Jozkow, G., Wieczorek, P., Karpina, M., Walicka, A., Borkowski, A., 2017. Performance Evaluation of sUAS Equipped with Velodyne HDL-32E LiDAR Sensor. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W6, 171-177. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-171-2017> (pkt. 15), udział 70%.

Cztery pierwsze publikacje (nr 1-4) opublikowane zostały w czasopismach wykazanych w bazie JCR (Journal Citation Report) posiadających Impact Factor (IF) oraz na tzw. liście A publikowanej przez MNiSW. Pozostałe trzy publikacje (nr 5-7) opublikowano

w wydawnictwach indeksowanych w bazie Web of Science, z tym iż praca (nr 5) jest publikacją w czasopiśmie naukowym (JoAG), a dwie pozostałe (nr 6 i 7) są recenzowanymi publikacjami konferencyjnymi.

Łączna liczba punktów wg listy MNiSW za publikacje stanowiące cykl tematycznie ze sobą powiązany wynosi 165, a sumaryczna wartość wskaźnika IF wynosi 12,214. Procentowy wkład habilitanta w opracowanie poszczególnych publikacji został zaprezentowany powyżej jako udział a dokumentacje na ten temat przedstawił w Załączniku nr 3, część I B).

Cykl powiązanych tematycznie publikacji scala ze sobą technologia skanowania laserowego, znana najczęściej pod akronimem LiDAR (ang. Light Detection And Ranging). Zaprezentowane wyniki badań autora i członków jego zespołów dotyczą poszukiwania jak najbardziej efektywnych metod kompresji danych na poziomie samego skanera oraz doboru odpowiednich sensorów (nawigacyjnych i obrazujących) w zakresie tworzenia platform lub ich adaptacji dla celów pozyskiwania chmur punktów jak najlepszej jakości i wykorzystaniu nisko-kosztowych urządzeń skanujących wieloliniowych (np. Velodyne).

Publikowane w cyklu badania dotyczą przede wszystkim testowania różnych algorytmów do kompresji i dekompresji danych LiDAR (ALS i TLS) pozyskiwanych w technologii fali pełnej (ang. full-waveform; FW) w celu zwiększenia efektywności urządzeń skanujących pozyskujących zdalnie, głównie informacje geometryczne o obiektach odbijających wiązki lasera. Cele jakie postawił sobie habilitant dotyczyły przede wszystkim opracowania szybkiej metody kompresji pozyskiwanych przez sensor skanera danych z wykorzystaniem algorytmów operujących Standardem JPEG-2000 oraz zwiększenia stopnia kompresji poprzez optymalizację metody dekorelacji danych wejściowych a także analizy wpływu typu kompresji stratnej na zniekształcenie pozyskiwanych danych.

Badania dotyczące platform do kartowania obiektów topograficznych (ang. MMS/P – Mobile Mapping Systems/Platforms) dotyczą przede wszystkim wykorzystania nisko-kosztowych urządzeń skanujących do celów pomiarowych w trybie kinematycznym (mobilne skanowanie) np. z platformy Bezzałogowych Statków Powietrznych (BSP) w aspekcie wpływu sensorów nawigacyjnych (GNSS, IMU) na jakość danych ULS czy fotogrametrycznych chmur punktów pozyskanych z wykorzystaniem platform BSL i urządzeń rejestrujących (kamery fotograficzne i skaner).

Publikacja (poz. 1) rozpoczynająca cykl jest bardzo obszernym przeglądem aktualnego stanu teledetekcji zarówno satelitarnej jak i lotniczej (w tym UAS/ULS). Została ona bardzo rzetelnie przygotowana w oparciu o 110 pozycji literatury i opisuje zarówno archiwalne sensory (optyczne i radarowe) jak i obecnie stosowane (stan wiedzy na 2015/2016). Autorzy wskazują bardzo celnie dalsze trendy dynamicznego rozwoju platform i urządzeń do pozyskiwania informacji 2D i 3D w aspekcie tzw. *crowdsourcing* czyli masowego pozyskiwania danych przestrzennych. W dalszej konsekwencji dane i technologie stają się częścią tzw. Big Data i Data Analytics czyli wyzwań technologicznych związanych z ich przetwarzaniem i interpretacją. Stąd zagadnienia badawcze podnoszone przez Habilitanta jak kompresja danych prowadząca do ograniczenia ich rozmiaru bez utraty jakości (metody bezstratne) zyskują na coraz większym znaczeniu w podnoszeniu efektywności urządzeń skanujących (skanerów na poziomie samego urządzenia i zapisu danych

pomiarowych. Publikacja choć ma charakter wyłącznie przeglądowy to pokazuje, iż motywowała on Habilitanta do podążania tą samą ścieżką badawczą (kompresja i dekompresja danych; nisko-kosztowe sensory, platformy mobilne ULS/BSP; systemy INS odpowiadające za nadawanie georeferencji chmurom punktów ULS) czego efektem są pozostałe przedstawione w cyklu prace oraz prototypy platform latających konstruowanych przez zespół, w którym aktywnie uczestniczył Habilitant.

Należy wyraźnie podkreślić, iż pomimo przeglądowego charakteru, publikacja ta otrzymała aż 64 cytowania w dość krótkim czasie uzyskując kategorie Highly Cited Paper 2016 w bazie WoS znajdując się w 1% najbardziej popularnych cytowań w zakresie Geoinformatyki.

Kolejna z listy **publikacja (poz. 2)** rozpoczyna cykl w sumie 3 publikacji dotyczących testowania sposobów kompresji danych LiDAR typu fali pełnej (ang. FW) przy implementacji algorytmów znanych z zastosowań dla danych typu 2-D.

Nowością w badaniach autorów było wykorzystanie, poza korelacją czasową fali (jak podczas kompresji typu 1-D), również korelacji przestrzennej. Pozwoliło to na zwiększenie stopnia kompresji danych, poprzez zastosowanie kroku głębszej dekorelacji zbiorów danych czyli zastosowania kroku poprzedzającego kompresję. Badania autorów poprzedzające publikacje poz. 2. A dotyczące danych FW wskazywały na fakt kompresji każdego rekordu danych reprezentującego pojedynczy kształt fali (waveform) oddzielnie czyli stosowania kompresji jednowymiarowej (1-D). Zespół badawczy z uczestnictwem Kandydata stwierdził iż, że ze względu na regularność sposobu akwizycji danych FW można je zapisać w regularnej strukturze 3-D, czyli tzw. *waveform cube*. Zachowuje ona przestrzenny porządek pomiędzy poszczególnymi fragmentami fali stąd - sąsiedztwo w strukturze 3-D (*waveform cube*) jest identyczne z tym w przestrzeni pomiarowej.

W omawianej pracy testowano tylko metody kompresji stratnej (ang. *lossy compression*), gdyż dane pozyskiwane metodą fali pełnej (ang. FWD) obarczone są tzw. szumem pomiarowym. Dokładna ich dekompresja nie jest wymagana jeśli stopień ich zniekształcenia po tym procesie będzie poniżej poziomu szumu pomiarowego.

Autorzy testowali różne metody kompresji stratnej typu 2-D, w tym algorytm: Standard JPEG-1 (*Joint Photogrammetric Experts Group*) bazujący na dyskretnej Transformacji Kosinusowej (Discrete Cosine Transform – DCT) zaimplementowany w oprogramowaniu Matlab (algorytm nazwany dalej JPEG-M). Drugi testowany algorytm był tzw. Standardem JPEG-2000 wykorzystujący Dyskretną Transformację Falkową (ang. Discrete Wavelet Transformation; DWT), która znana jest z uzyskiwania wyższego wskaźnika kompresji i pozbawiona jest efektów brzegowych metody DCT. Testowano dwie implementacje w oprogramowaniu Matlab (JPEG 2000-M0 oraz w oprogramowaniu Kakadu (zwany dalej JPEG 2000-K).

Trzecią i czwartą metodę testowanej kompresji stanowiły dwa autorskie algorytmy kompresji (PCA-1; PCA-2) oparte na analizie głównych składowych (*Principal Component Analysis*; PCA) prowadzącej do zmniejszania rozmiaru zbioru danych, poprzez odrzucenie ostatnich czynników.

Celem podjętych badań było zbadanie efektywności poszczególnych algorytmów pod kątem uzyskiwanego stopnia kompresji, dla którego zniekształcenie danych po dekompresji

(odtworzeniu) oceniane poprzez wskaźnik siły sygnału do szumu (*Signal to Noise Ratio*; *SNR*) jest akceptowalne dla użytkownika. Autorzy sprawdzili także kształt fali po procesie dekompresji danych zapisanych przez skaner lotniczy jak również testowali metody kompresji bezstratnej pod kątem stopnia kompresji i jej szybkości (czas kompresji).

Wyniki uzyskane w pracy wykazały, iż najefektywniejszą (18,2%) okazała się metoda kompresji stratnej (lossy compression) oparta na standardzie JPEG-M co pozwala jednocześnie uzyskać wysoki stopień kompresji przy niewielkim zniekształceniu danych (po dekompresji). Algorytm ten okazał się również znacznie szybszy od metod bezstratnych (lossless compression) co w zasadzie pozwala na kompresję danych w postaci fali pełnej w czasie rzeczywistym w samym urządzeniu skanującym (platforma skanująca). Proces dekompresji danych przy użyciu JPEG 2000-M był szybszy o około 60-70% od procesu kompresji. Algorytm PCA-2 okazał się być 10x wolniejszy od JPEG-M. Autorzy publikacji zalecają jednak stosowanie tego algorytmu na etapie dekorelacji danych bez redukcji wielkości zbiorów.

Kontynuację badań nad kompresją danych pochodzących z systemów fali pełnej FWD, stanowi **Publikacja poz. 3**. Badania zespołu autorskiego dotyczyły przede wszystkim dwóch aspektów kompresji zestawu danych z lotniczego skanowania laserowego pozyskanych urządzeniami firmy RIEGL (Q680i oraz Q780). Pierwszy aspekt dotyczył wykorzystania standardu JPEG-2000, w zakresie kodu do transformacji wielokomponentowej (ang. *Multi-Component Transform*) pozwalającej na kompresję danych typu 3-D bez konieczności generowania wydzielenia obrazów z formacji 3-D jaką jest *waveform cube* (patrz poz. 1). Drugim aspektem badań było zaimplementowanie dodatkowej dekorelacji danych przed zastosowaniem kompresji JPEG-2000. Wcześniejsze badania (patrz poz. 2) wykazały bardzo dużą wydajność Standardu JPEG-2000 (w jego pierwszej części kodu), stąd autorzy chcieli kontynuować badania nad zwiększeniem stopnia kompresji poprzez wykorzystanie korelacji danych FW w trzech wymiarach, tj. wzdłuż przebiegu fali - korelacja czasowa, wzdłuż linii skanowania (poprzecznie do linii lotu) oraz pomiędzy liniami skanowania - korelacja przestrzenna. Uzyskano to dzięki wykorzystaniu rozszerzonego standardu JPEG-2000 w jego drugiej części kodu co pozwala na dekorelację obrazów wielokanałowych. Dekorelacja danych polegała na zastosowaniu transformacji 1-D np. DWT (Dyskretna Transformacja Falkowa), na każdym pikselu obrazu wielokomponentowego, wzdłuż trzeciego wymiaru, a następnie uruchomieniu dekorelacji poszczególnych komponentów tego obrazu.

Testowano też inne transformacje dekorelujące pod kątem zwiększenia stopnia kompresji FWD bez zwiększania ich zniekształcenia. Autorzy zbadali dwie transformacje typu 2-D, tj.: KLT (Karhunen-Loève-Transformation) oraz DWT, ale poprzedzając ten proces normalizacją danych. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że dla identycznego stopnia kompresji, zastosowanie stratnej kompresji 3-D pozwoliło to jedynie na nieznaczne zmniejszenie stopnia deformacji przebiegu fali w stosunku do badanej wcześniej kompresji 2-D, chociaż kompresja 3-D trwała znacznie dłużej niż kompresja 2-D.

Największą zaletą algorytmów do kompresji 3-D jest ich większa elastyczność, pozwalająca na zarządzanie stopniem kompresji co prowadzi przy wolniej działającej kompresji do uzyskania fali niemal bez zniekształceń po dekompresji. Zastosowanie

transformacji KLT spowodowało nieznaczne ograniczenie zniekształcenia danych full waveform w porównaniu do kompresji bez tej transformacji, szczególnie przy zastosowaniu dużych stopni kompresji.

Liniowa digitalizacja danych FW po przeprowadzeniu ich dekorelacji z zastosowaniem algorytmu DWT, powodowała zwiększenie dystorsji w stosunku do transformacji 3-D bez zastosowania dodatkowej dekorelacji danych wejściowych przez procesem ich kompresji. Mimo ograniczenia tempa kompresji algorytmów 3-D w stosunku do 2-D, nie wydaje się by nie miała ona żadnej dalszej przyszłości. Charakteryzuje się ona bowiem większą dynamiką co pozwala na dobór optymalnego sposobu kompresji w zależności od zastosowań użytkownika. Stosowanie jednego standardu, tj. JPEG-2000 pozwala na implementację tych samych narzędzi analitycznych dla obu wariantów kompresji w zależności od możliwości tempa przetwarzania na poziomie platformy samego sensora.

Publikacja (poz. 4) jest kolejnym artykułem w zakresie testowania metod kompresji JPEG 2000 jednak jest dziełem wyłącznie Habilitanta (praca jednoautorska; 100% udziału; wydana w PFG). Pracę od pozostałych wyróżnia fakt, iż dotyczy danych LiDAR pochodzących z naziemnych skanerów laserowych w przeciwieństwie do poprzednich dwóch (poz. 2 oraz 3.). Praca dotyczy również stosowania kompresji JPEG 2000 do danych TLS (skanery Leica: ScanStation 2, P10 oraz P20) na poziomie samego urządzenia skanującego, tj. sensora. Wyżej wymienione skanery użyte przez autora bazują na technologii ToF).

Ze względu na specyfikę prac TLS autor wykazał zorganizowany sposób pozyskiwania danych, co skutkuje faktem, iż nie ma w zasadzie konieczności zapisu współrzędnych kartezjańskich w chmurze, gdyż odtworzyć je można na podstawie odległości od środka lustra skanera oraz znajomości kilku wartości zapisywanych jako metadane.

Autor zaproponował by dane TLS zapisywać jako wielo-komponentowy raster przechowując w poszczególnych warstwach (kanałach): odległość, intensywność odbicia oraz dodatkowo RGB jeśli skaner wyposażony jest w sensor optyczny do pozyskiwania zdjęć cyfrowych i koloruje wynikowe chmury punktów. W pracy analizowano w 3 wariantach efektywność kompresji stratnej i bezstratnej wykorzystującej standard JPEG-2000. Warianty kompresji różniły się liczbą kompresowanych jednocześnie komponentów (np. *Range*, *Intensity*, *RGB*) utworzonego rastra. Kompresje testowano osobno dla każdego komponentu oraz w opcji jednoczesnej kompresji kilku komponentów z wykorzystaniem transformacji wielo-komponentowej.

Testy w wariacie osobnych rastrów dla parametrów: odległość, intensywność oraz RGB wykazały największy stopień kompresji danych przy wykorzystaniu 32 bitów pamięci. Autor poddał też testom dane TLS zapisane w różnych formatach (PTX, LAS, PCD, E57, BIN CC, ZIP, LAZ) oraz plikach powstałych w wyniku stratnej oraz bezstratnej kompresji JPEG-2000. Oba warianty kompresji JPEG-2000 zapewniły najwyższy stopień kompresji. Kompresja bezstratna okazała się nieznacznie lepsza i wynikała z przyjęcia bardzo rygorystycznych progów akceptowalnego zniekształcenia fali po dekompresji.

Autor testował też czas trwania obliczeń (kompresji) danych do danego formatu oraz ich dekompresji do formatu wyjściowego. Eksperymenty przeprowadzono dla czterech formatów (ZIP, LASzip, JPEG 2000 lossless oraz JPEG-2000 lossy). Najszybszy okazał się

w przypadku kompresji oraz dekompresji danych algorytm bezstratny JPEG-2000 (lossless), osiągając wydajność do 6.0 mln punktów na 1 sek. - co może być przyczynkiem do wprowadzenia procesu kompresji danych w czasie rzeczywistym na platformie sensora w trakcie skanowania, co z kolei może się przyczynić do ograniczenia rozmiaru zbiorów danych TLS.

Publikacja (poz. 5) otwiera jakby drugą część osiągnięcia naukowego i jest pierwszą w przedłożonym cyklu publikacji, dotycząca akwizycji chmur punktów LiDAR przy wykorzystaniu stosunkowo nisko budżetowych skanerów zamontowanych na platformach BSP (ang. UAS; ULS). Celem autorów tej publikacji była wstępna ocena jakości chmur punktów ULS wyposażony w wielo-liniowy sensor skanujący Velodyne HDL-32E (32 diody skanujące) w stosunku do fotogrametrycznych chmur punktów generowanych w procesie dopasowania obrazów (SGM – Semi Global Matching). Autorzy skoncentrowali się na zagadnieniu rekonstrukcji trajektorii BSP, z tego względu iż to ona decyduje przede wszystkim o poprawności geometrycznej (jakości) otrzymywanych chmur punktów. Zbudowany przez zespół badawczy prototyp posiadał zestaw różnych odbiorników GNSS zintegrowanych z BSP (INS) lub tylko kamerą cyfrową (Nikon). Najbardziej zaawansowany był odbiornik dwu-częstotliwościowy NovAtel OEM615 (klasy geodezyjnej). Ocena dokładności georeferencji bezpośredniej pochodzącej z systemu INS (IMU + GNSS) została określona w odniesieniu do referencyjnych współrzędnych środków rzutów pojedynczych zdjęć cyfrowych (kamera Nikon D800) wyznaczonymi metodą fotogrametryczną (określenie orientacji zewnętrznej EO przy wykorzystaniu orientacji wzajemnej i pomierzonych GCP). Dokładność testowanego odbiornika GNSS oszacowana została na około 2,0 XY oraz 4,0 cm Z co wydaje się być zupełnie wystarczającą wartością do nadania georeferencji chmurze punktów ULS.

Chmura punktów ULS (Velodyne HDL-32E) pomimo 32 diod generujących promień lasera posiada znacznie mniejszą gęstość w porównaniu do fotogrametrycznej chmury punktów (matching zdjęć) i to pomimo niskiej wysokości względnej lotu (AGL) oraz pokrycia pomiędzy pasami skanowania powyżej 50%. Średnia gęstość punktów ULS (1140 pkt/ m²) była jednak ponad 80x większa gęstości skanowania lotniczego skanowania laserowego (ALS; np. 20 pkt/m²). Gęstość punktów uzyskana kamerą GoPro była stosunkowo wysoka (jakieś 60% w stosunku do Nikon) jednak błąd ich położenia 3D RMSE 10x większy od chmur punktów wygenerowanych ze zdjęć Nikon D800.

Jakość geometryczna wygenerowanej chmury punktów ULS była jednak niewystarczająca ze względu na stosunkowo niską dokładność orientacji katowej platformy BSP.

Poprawność georeferencji chmury punktów ULS oceniono na drodze identyfikacji najbliższych punktów terenowych (pomiar GNSS-RTK) i wyniosła ona 0.49 m (Z). Porównując ten wynik do typowych wyników dla ALS wydaje się ona być za wysoka dla platformy BSP, co prawdopodobnie wynikać może ze stosunkowo słabej jakości IMU, co autorzy badali w kolejnych pracach.

Publikacja (poz. 6) powstała jako rozwinięcie powyżej omawianej pracy (poz. 5) i dotyczy przede wszystkim szczegółowej analizy poszczególnych komponentów nawigacji

prototypu platformy ULS ze szczególnym weryfikowaniem 2 różnych urządzeń IMU (MicroStrain 3DM-GX3-35 oraz EPSON M-9362PDC1 MEMS).

Pierwszy z testowanych IMU (Epson) może być zaliczony do klasy taktycznych IMU ze względu na stosunkowo niewielki dryf żyroskopów dochodzący do $3^\circ/\text{h}$. Drugie testowane IMU MicroStrain zalicza się do klasy urządzeń konsumenckich ze względu na 6x większy dryf (do $18^\circ/\text{h}$). Dwa testowane IMU synchronicznie pozyskiwały dane a ich lokalizacja nie powodowała dodatkowych problemów z porównaniem do innych warunków. Przed lotem BSP pozyskano dane w 2 wariantach: przed włączeniem silników i po ich uruchomieniu aby dokonać analizy akcelerometrów (lepsze akcelerometry montowane są w urządzeniu MicroStrain). Pomiary dowiodły, iż po włączeniu silników wartości przyspieszeń średnich różniły się od sytuacji z wyłączonymi silnikami. Winne są temu wibracje powodowane przez silniki elektryczne konstrukcji okto-wirnikowca Bergen wpływając na rekonstrukcję trajektorii. Aby wyeliminować błędne odczyty akcelerometrów, zwiększono progowe wartości szumów w algorytmie filtra Kalmana (EKF) integrującym poprawne dane GNSS oraz IMU. Dzięki temu współrzędne odtworzonej trajektorii lotu BSP bazujące na GNSS oraz INS były zgodne z pochodzącymi tylko z odbiornika GNSS (NovAtel OEM615).

Wpływ informacji produkowanych przez żyroskopy na jakość elementów kątowych odtworzonej trajektorii BSP autorzy określali poprzez porównanie kątów Eulera uzyskanych z integracji danych GNSS i INS z EO określoną metodą fotogrametryczną pochodzącą z procesu wyrównania bloku zdjęć cyfrowych (Nikon).

Badania dowiodły, iż wibracje powodowane przez silniki wpływają negatywnie na odczyty z żyroskopów (IMU). Bardzo duży wpływ zanotowały klasę lepsze żyroskopy Epson, w przypadku których kąty Eulera różniły się nawet do 50° . W przypadku IMU MicroStrain różnice te były znacznie mniejsze (tylko kilka stopni kątowych) i odnosiły się głównie do kątów roll i pitch. Uzyskane rezultaty dowiodły, iż tej klasy IMU nie nadają się do procesu nadawania georeferencji chmurze punktów ULS ze względu na zbyt duże wartości błędów odczytów podczas lotu. W chwili obecnej IMU tej klasy nie odpowiadają standardom georeferencji chmur punktów z ALS a powinny być znacznie lepsze (np. ze względu na niewielki AGL).

Autorzy zaproponowali zastosowanie tłumienia drgań stosując odpowiednie materiały izolujące (gumowe amortyzatory) IMU. Inne zaproponowane rozwiązania algorytmiczne opierają się na użyciu dodatkowych danych w procesie rekonstrukcji trajektorii. Można to rozwiązać poprzez dopasowywanie profili skanowania pozyskanych przez wiele diod lasera do jego kolejnych obrotów. Drugie fotogrametryczne wymaga pozyskania zdjęć i dobrej jakości kamery.

Ostatnia w przedstawionym cyklu **publikacja (poz. 7)** pozostaje również w zakresie badań nad chmurami punktów ULS w aspekcie analizowania wpływu różnych czynników mających na jakość geometryczną pozyskiwanej chmury. O ile publikacje poz. 5 i 6 dotyczyły prototypu w budowie którego uczestniczył Habilitant, to ostatnia publikacja opiera się na danych pozyskanych platformą komercyjną Aibot X6 ze skanerem Velodyne HDL-32E. W urządzeniu producent zamontował lepszej klasy IMU STIM300 Sensoror (dryf jedynie $0,5^\circ/\text{h}$; technologia MEMS). Sposób podwieszenia na gimbalu pod BSP zapewniał dobre tłumienie drgań.

Autorzy analizowali: łączny wpływ dokładności wszystkich sensorów nawigacyjnych (IMU, odbiornik i antena GNSS, skaner laserowy) na teoretyczną dokładność chmury punktów ULS, jakość rekonstrukcji trajektorii z danych z odbiornika GNSS i INS, dokładność wewnętrzną oraz bezwzględną chmury punktów ULS.

Autorzy ustalili dokładność teoretyczną RMSE 3-D położenia punktów ULS w śladzie wiązki laserowych powstałym na poziomej powierzchni zeskanowanej z wysokości 25.0 m dla kąta widzenia skanera 120° na podstawie prawa propagacji kowariancji dla równania georeferencji chmur punktów. Obliczone błędy 3D punktów wynoszące od 30 mm (w nadirze) do około 35 mm (na skraju pasa skanowania w tylnej jego części) pokazują rząd spodziewanej dokładności.

Jakość geometryczna rekonstrukcji trajektorii określono jako różnicę współrzędnych punktów trajektorii oraz kątów Eulera pochodzących z INS (filtr Kalmana) zgodnie z kolejnością pozyskiwanych danych oraz w kierunku przeciwnym.

Obliczone bezwzględne różnice na współrzędnych pomiędzy punktami na trajektorii <2.0 cm. Bezwzględne różnice kątów Eulera z reguły nie przekraczały 0,15° dla kątów przechylenia i pochylenia oraz 0,5° dla kąta skręcenia. Informacje te dały podstawę do stwierdzenia, iż dużo większy wpływ na położenie punktów ULS w przestrzeni mają wyznaczone kąty Eulera, niż współrzędne trajektorii. Okazuje się zatem, iż większy wpływ na dokładność geometrii chmury ULS ma jakość zastosowanego IMU niż samego sensora GNSS.

W celu oceny wewnętrznej spójności geometrycznej chmury punktów ULS wybrano powierzchnie planarne i na nich wyselekcjonowano zestawy tworzących je punktów. Metodą MSAC (M-estimator SAmple Consensus; Torr and Zisserman, 2000) wpasowano w nie płaszczyzny. Tak obliczona dokładność wyniosła 5.0-7.0 cm. W celu obliczenia dokładności bezwzględnej zastosowano naziemne skanowanie laserowe, które lepiej opisywało płaszczyzny planarne. Uzyskano wyniki na poziomie około 7.0 - 9.0 cm w zależności od lokalizacji powierzchni referencyjnej (ściana budynku, dach, droga asfaltowa).

W powyżej omawianych pracach stanowiących powiązanych tematycznie cykl publikacji habilitant zaproponował oryginalne rozwiązania zwiększające efektywność gromadzenia (kompresji w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem algorytmu standard JPEG-2000) dużych ilości danych pochodzących ze skanowania laserowego (LiDAR). Kandydat udowodnił to eksperymentami numerycznymi. Możliwość pozyskiwania poprawnie geometrycznie chmur punktów ULS do zadań pomiarowych (określone wartości dokładności w zależności od poziomu wymogów użytkownika końcowego) z wykorzystaniem BSP i niskobudżetowych urządzeń skanujących LiDAR, Habilitant potwierdzał empirycznie na konstrukcjach prototypowych i finalnie na komercyjnej BSP.

C. Ocena innych osiągnięć naukowych Habilitanta (nie wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej) po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (kryteria zgodne z Rozporządzeniem MNSzW z dnia 1 września 2011 roku w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, §3 i §4):

Habilitant wykazuje się (Załącznik 2a c) autorstwem bądź współautorstwem łącznie 122 prac twórczych, w tym 90 po uzyskaniu stopnia doktora:

- 3 artykuły w czasopismach z listy JCR po uzyskaniu stopnia doktora);
- 1 monografia 1 po uzyskaniu stopnia doktora;
- 2 artykuły w czasopismach z listy „B” MNiSW po uzyskaniu stopnia doktora (łącznie 12),
- 10 recenzowanych artykułów konferencyjnych indeksowanych w WoS po uzyskaniu stopnia doktora,
- 9 artykułów opublikowanych w materiałach konferencyjnych po uzyskaniu stopnia doktora (łącznie 10),
- 1 artykuł w czasopiśmie branżowym spoza listy MNiSW po uzyskaniu stopnia doktora,
- 57 opublikowanych abstraktów w materiałach konferencyjnych po uzyskaniu stopnia doktora (łącznie 78),
- 7 niepublikowanych ekspertyz i raportów po uzyskaniu stopnia doktora.

Sumaryczna liczba punktów wg MNiSW:

- 398 pkt. za publikacje po uzyskaniu stopnia doktora łącznie z publikacjami stanowiącymi osiągnięcie naukowe (460 pkt. łącznie cały dorobek)
 - Cykl tematycznie powiązanych publikacji 165 pkt.;
- sumaryczny IF: 15.775 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (łączny IF = 15.775).
- cytowania według Web of Science po uzyskaniu stopnia doktora: 104 (łącznie: 104).

Według kwerendy w bazie Web of Science Habilitant posiada 17 publikacji w WoS, cytowane łącznie 104 razy (bez auto-cytowań 94 razy). Daje to bardzo wysoką wartość 6,12 cytowania na 1 pracę. Indeks Hirscha wg WoS wynosi 4.0 (przed doktoratem 0,0).

Habilitant wykonał 32 recenzje artykułów naukowych, w tym 11 dla czasopismach wyróżnionych w JCR.

D. Ocena dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej Habilitanta po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (kryteria zgodne z Rozporządzeniem MNSzW z dnia 1 września 2011 roku w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, §5):

Inne znaczące osiągnięcia Habilitanta (wg Załącznika 3).

- Członkostwo w międzynarodowych organizacjach naukowych: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS);
- Wystąpienia na konferencjach naukowych (postery i referaty): 78 (w tym 25 referatów wygłoszonych osobiście);
- Uczestnictwo w zagranicznych, europejskich i międzynarodowych projektach badawczych: 5;
- Uczestnictwo w krajowych projektach badawczych: 3;

- Promotorstwo prac dyplomowych: 32 (9 magisterskich, 23 inżynierskich);
- Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego: 3 doktorantów;
- Opieka naukowa nad studentami z zagranicy przyjeżdżającymi na staż: 2 studentów - łącznie 14 miesięcy;
- Udział w komitetach organizacyjnych konferencji: 5;
- Nagrody za krajowa działalność naukową: 3;
- Inne nagrody organizacyjne lub za działalność dydaktyczną: 2;
- Działalność dydaktyczna: liczne kursy na UP Wrocław: ćwiczenia oraz 2 wykłady;
- Ekspertyzy i opracowania: 7

Szczegółowy opis powyższych osiągnięć znajduje się w załączniku 3, część II i III.

Wniosek końcowy

We wszystkich ocenianych zakresach moja ocena dorobku Habilitanta jest pozytywna. Jako recenzent uważam, że postawione hipotezy badawcze w analizowanych pracach, stanowiących rozprawę habilitacyjną, są oryginalnymi, wartościowymi autorskimi osiągnięciami rozwiniętymi na bardzo wysokim poziomie warsztatu naukowego. Oceniając postawione sobie przez Habilitanta cele badawcze i zaprezentowane wyniki w cyklu publikacji, stwierdzam ponad wszelką wątpliwość, iż zostały przez niego w pełni zrealizowane.

Za najważniejsze osiągnięcia Habilitanta w pracach przedstawionych jako spójny cykl publikacji jako recenzent chciałem wskazać, iż wniósł on istotny wkład w rozwój wiedzy i praktyki LiDAR w zakresie kompresji danych ALS i TLS oraz ich zniekształceń wynikających z przetwarzania (kompresja/dekompresja):

- Implementację algorytmu Standard JPEG-2000 realizującego szybko kompresję danych LiDAR (typu fali pełnej FWD) bezpośrednio na poziomie skanera platformy, co może przyczynić się do znacznego podniesienia efektywności urządzenia skanującego (oszczędność pojemności dyskowej skanera lub w przyszłości przesyłania danych skompresowanych przez WiFi);
- Opracowanie metody efektywnie działającej kompresji chmur punktów TLS (technologia ToF) wykorzystującej Standard JPEG-2000 na poziomie samego skanera co może przynieść sporo oszczędności przy kopiowaniu danych ze skanera i zmniejszyć ich rozmiar.
- Udowodnienie, iż odpowiednio przyjęta organizacja danych LiDAR w struktury typu 2-D w przypadku danych ze skanerów pulsacyjnych (Time-of-Flight; ToF), a w przypadku FWD (Full Waveform Data) - organizacja w struktury 3- D - pozwalają zwiększyć stopień kompresji danych prowadząc do oszczędności miejsca na nośnikach pamięci,
- Opracowanie metody analizy zniekształceń fali LiDAR powodowanych algorytmami z kompresją stratną, oraz

- Wskazanie dopuszczalnego poziomu stopnia kompresji stratnej danych, do którego nie następuje istotne zniekształcenia fali LiDAR.

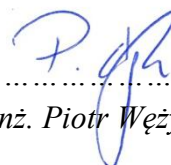
Ponadto w zakresie badań nad niskobudżetowymi platformami UAS wykorzystującymi wielo-liniowe stosunkowo niedrogi skanery, jako najważniejsze osiągnięcia Habilitanta, mające praktyczne zastosowania wskazuję:

- Opracowanie metodyki oceny wpływu jakości sensorów, w tym w szczególności jednostki IMU, na dokładność georeferencji nadawanej chmurom punktów ULS pozyskanych z wykorzystaniem niskobudżetowych skanerów laserowych (np. Velodyne HDL-32E).

Zakres tematyczny zaprezentowanego cyklu wpisuje się w obecne światowe trendy badań związanych z problematyką wykorzystania zminiaturyzowanych skanerów na platformach UAS w celu pozyskiwania bardzo gęstych referencyjnych chmur punktów ULS. Przedstawione badania i wyniki są znaczącym wkładem w rozwój technologiczny systemów LiDAR (ALS, TLS, ULS) oraz komponentów fotogrametrycznych na BSP (metody dopasowania zdjęć; SGM, SfM).

Cykl ten, wskazuje na jasno zdefiniowane zainteresowania Habilitanta i jego konsekwentny rozwój naukowy w dyscyplinie geodezja i kartografia. Habilitant wykazuje istotną aktywność naukową, ma duże doświadczenie dydaktyczne, działa aktywnie na polu współpracy międzynarodowej.

Konkludując przedstawione szczegółowe oceny całokształtu dorobku naukowo-badawczego, dydaktyczno-organizacyjnego oraz poziomu naukowego osiągnięcia naukowego – cyklu publikacji powiązanych tematycznie, wyrażam opinię, iż dr inż. Grzegorz Józków posiada pełne kwalifikacje do samodzielnej, twórczej pracy badawczej i kierowania zespołami badawczymi. Habilitant w pełnym zakresie spełnia wszystkie warunki art. 16 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki dla osób ubiegających się o nadanie stopnia **doktora habilitowanego w dziedzinie Nauk Technicznych, dyscyplinie inżynieria lądowa i transport – stąd też przedkładam Komisji Habilitacyjnej (powołanej przez Centralną Komisję do Spraw Stopni i Tytułów) ds. przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego - niniejszą opinię o całokształcie dorobku dr inż. Grzegorza Józkowa z wnioskiem o dopuszczenie Kandydata do dalszego postępowania habilitacyjnego.**



.....
dr hab. inż. Piotr Wężyk, prof. UR